第46卷 第2期
2023年2月

干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

Vol. 46 No. 2
Feb. 2023

基于物质流的青海高原城镇社区家庭能源消费研究
——以西宁市为例

姜 璐[1,2], 刘艳娟[1], 史晓楠[3], 丁博文鹏[4], 陈虹宇[1]

（1. 青海省人民政府-北京师范大学高原科学与可持续发展研究院,青海 西宁 810016；2. 北京师范大学地理科学学部,北京 100875；3. 中国科学院东北地理与农业生态研究所,吉林 长春 130102；4. 兰州大学资源环境学院,甘肃 兰州 730000）

摘 要: 在后工业化时代和后疫情时代的叠加背景下,随着城镇家庭能源消费量持续增加,家庭已成为能源消费碳排放的主要贡献者。高原城市西宁市是生态安全的重要守卫地,分析其家庭能源消费的研究对我国生态文明建设起着至关重要的作用。基于2021年实地调研数据结合普通最小二乘法(OLS)回归模型,通过构建家庭能源流探索了其家庭能源消费特征、影响因素并对不同收入情况下家庭能源消费的全过程进行可视化。结果表明:(1) 西宁市城镇家庭年人均能源消费量为461.57 kgce·a^{-1}。(2) 在能源用途方面,西宁市城镇家庭人均取暖能源消费量为307.52 kgce·a^{-1},是家庭能源消费的主要来源,而大型家用电器中的洗衣机耗能量最低。(3) 家庭年末总收入是影响西宁市家庭人均年能源消费的核心因素。(4) 高收入家庭人均能源消费量大,但随着家庭收入水平增加,取暖能源消费量随之减少。基于此,研究建议增加居民的清洁能源供给,增强所有居民对可再生能源的认识;增加对中高收入人群的节能宣传和自主节能意识。通过因地制宜制定能源政策,推动我国可持续能源发展进程。

关 键 词: 家庭能源消费；高原城镇；影响因素；OLS模型；西宁市

文章编号: 1000－6060(2023)02－0294－11(0294～0304)

随着后工业化和新型城镇化进程的快速发展,家庭部门的能源消费量仅次于工业部门,2019年家庭能源消费占全球能源消费总量的23%[1],同年中国家庭能源消费为6.17×10^{11} kgce,占全国能源消费总量的12.66%[2],家庭成为了碳排放的主要贡献者。鉴于行为方式和生活方式对家庭能源消费有显著影响,在疫情与后工业化时代双重叠加背景下,如何理解家庭能源消费现状以及背后的驱动因素,成为了各国政府和世界组织关注的主要议题。联合国气候变化专门委员会(IPCC)第6次报告指出,需求侧减排是供给侧减排的有力补充,并且需求侧减排的目标不仅是应对气候变化,还需要协同实现增进福祉和促进公平等可持续发展目标[3]。城市消费了世界2/3以上的能源。当前中国正处于历史最大规模的城市化进程中,预计到2030年,近70%的中国人口将定居城市,必将产生更多的生活能耗,对城市推进能源消费革命造成长期压力。考虑到应对气候变化行动中城市水平和性质的差异,了解城市居民能源消费现状和未来减排潜力十分重要[4]。

地理学视角下,空间尺度之间的相互作用影响产生了家庭能耗的空间结构,而每个尺度的地理格局定格时家庭能耗空间结构是有所差别的。国内外学者探索了尺度转换和尺度融合的方法,从宏观、中观和微观尺度套叠视角进行实证描述分析。从全球尺度来看,Nejat等[5]分析了近10 a全球范围及碳排放量最大的10个国家的家庭能源消费状况,发现全球家庭能源消费增加了14%,其主要来自于发展中国家。Reinders等[6]对欧盟11个国家的情况进行对比分析后发现,家庭部门中直接和间接能源消费差异巨大。在国家尺度上,研究主要集中在发

收稿日期: 2022-04-29； **修订日期:** 2022-06-22
基金项目: 国家自然科学基金项目(42001130)资助
作者简介: 姜璐(1989-),女,博士,教授,博士生导师,主要从事能源地理与区域可持续发展等方面的研究. E-mail: jianglu@gdas.ac.cn

展中国家，学者们运用实地调研数据分析印度和加纳家庭炊事的用能情况，并对能源的优劣性和影响因素进行研究[7-8]。从区（省）域尺度来看，郑新业等[9]运用全国家庭能源消费实地调研数据发现，南北方能源消费类型存在显著差异。从城乡尺度视角来看，多数研究集中在农村地区，学者们在晋黔浙等地调研发现不同地域的城乡家庭能源消费结构及数量也具有差异性[10-11]。

尽管以往研究家庭能源消费的影响因素主要集中于社会经济因素（收入情况、人口及住房面积等）、行为文化因素（行为、民族等）以及外部因素（政府政策及能源可获得性）进行分析[12]，但总体而言学者们并没有得到一致结论。从经济因素来看，学者们运用劳动力动态调查数据、CRECS数据及实地调研数据发现，无论是农村地区还是城市家庭收入水平、常住人口数、能源价格及住房面积等是影响家庭能源消费的主要因素[10,13-17]。从行为文化因素来看，学者们发现汉族与少数民族能源消费具有差异性[14]。学者们分别从中国3大主要经济带的实地调研数据及新加坡居民实验数据发现社会规范、政策法规、经济成本、宣传教育、产品的技术成熟度、目标与信息反馈等有利于提高居民的节能行为，能够在一定程度上抑制家庭高能耗消费[18-19]。同时，学者发现由印度种族制度森严及妇女地位相对较低，使得其家庭男女能源消费具有一定的差异性[20-21]。总体而言，虽然国内外学者在不同研究尺度分析家庭能源消费异质性，并在探索不同因素影响家庭能源消费模式的研究等方面取得了卓越的成效，但是相对缺少以社区为尺度的微观城镇家庭能源消费的深层次剖析研究，尤其是在微观数据获取难度较大的高海拔地区。

家庭能源消费活动作为一种典型的人地关系区域活动，是能源地理精细化研究的主要趋势。城市空间包括邻里、社区和社会区[22]，以社区为尺度打造的城市地理空间载体，对加深认识家庭能源消费的空间整体特征具有重要意义。随着西北地区城镇化进程的快速发展给予当地生态环境带来严重挑战，鲁大铭等[23-24]估算2000—2017年青海省资源环境效率，发现其均值低于1，说明青海省处于低效率状态，不利于其打造生态文明高地。西宁市作为高原城市的代表之一，是我国生态安全的重要守卫地。为此，本文选取西宁市作为研究区域，通过构建全景式家庭能源数据调查框架[22]，获取的实地调研的微观数据，展开高原地区城市家庭能源消费的研究，探索高原地区城镇家庭能源消费情况及影响因素的特殊性，进而为社会领域的能源转型提供科学参考。

1 研究区概况

西宁市是青海省省会，地处我国西北地区、青海省东部、湟水中游河谷盆地，全域平均海拔为3130 m。西宁市属大陆性高原半干旱气候，年平均日照为1939.7 h，年平均气温7.6 ℃，最高气温34.6 ℃，最低气温零下18.9 ℃。西宁市总面积7.66×10^3 km^2，主要包括城东区、城中区、城西区、城北区、湟中区等主城区，湟源县和大通回族土族自治县2个县级区域。2021年末，西宁市城镇常住人口为1.96×10^6人，比2020年末增加2.21×10^4人，增长1.13%，且居住了全省60%的人口。西宁市城镇化率为79.33%[25]，2020年城镇常住居民人均可支配收入36959元，城镇常住居民人均生活消费支出24315元。能源消费方面，近5 a来西宁市生活能源呈上升趋势，从2016年的8.75×10^8 kgce增长至2020年的1.17×10^9 kgce，增长率为33.72%[26]。西宁市清洁能源资源富集，但基础能源设施较弱，在青海省着力打造国家清洁能源产业高地背景下，选取西宁市作为本文研究对象，开展家庭能源消费研究具有一定的代表性。

2 数据与方法

2.1 数据来源

西宁市城镇家庭能源消费数据主要来源于实地调研。为了解西宁市主城区及所属县级城镇居民家庭能源消费现状及存在问题，调研组于2021年7—8月正式展开了实地调研，主要采用实地访谈法、抽样调查等方法[27]，对西宁市主城区和周边县区共7个区域展开调研。调研主要以家庭（户）为基本单位，共发放调查问卷509份，回收问卷500份，后期对原始数据进行预处理，实际得到有效问卷485份，问卷有效率为95.28%（图1），样本信息包括家庭和经济情况等（表1）。

2.2 研究方法

2.2.1 *家庭能源消费核算法* 本文将调查数据整理计算后得到西宁市五区两县的能源消费情况，本文

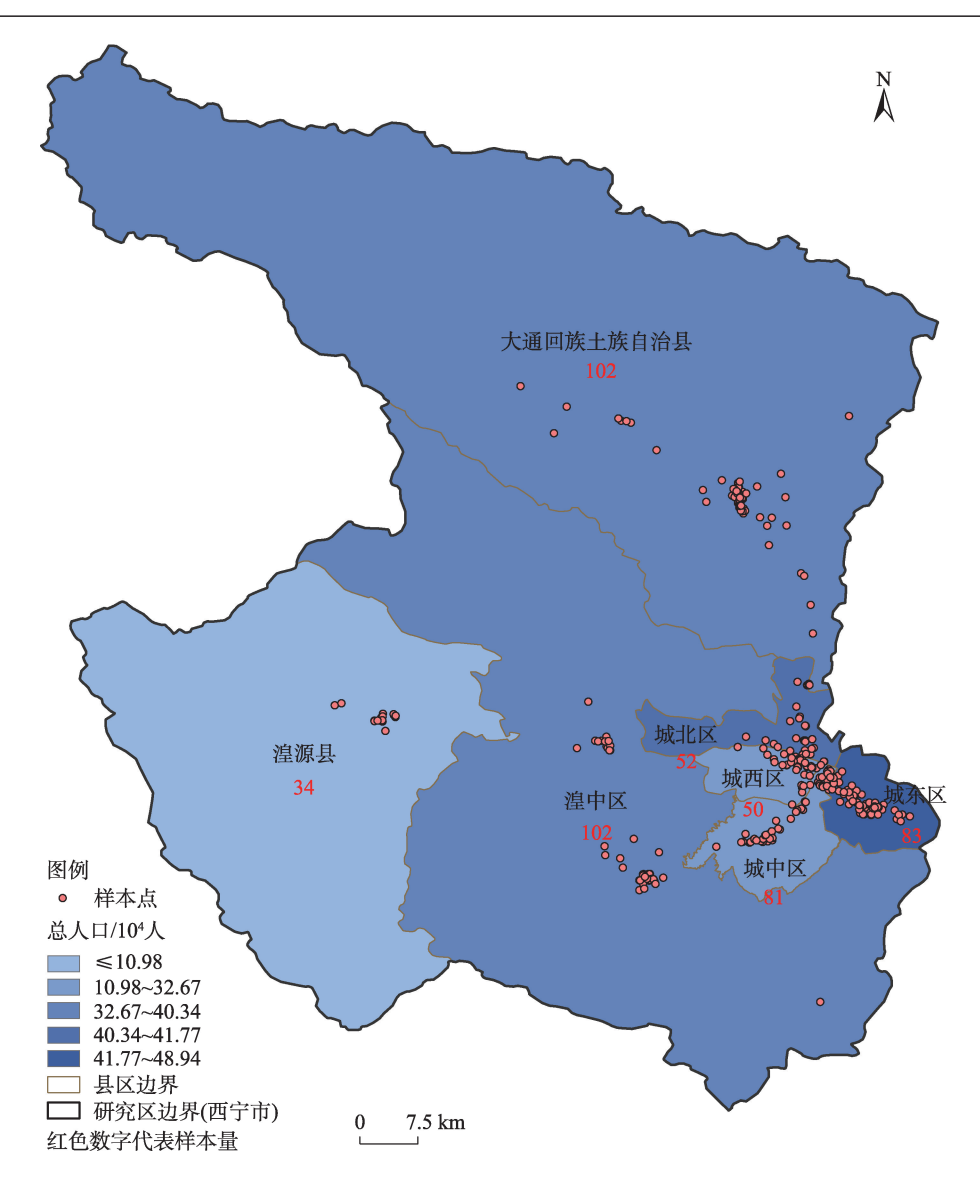


图1 研究区范围及样本点的分布

Fig. 1 Research areas and distribution of sample points

表1 样本特征

Tab. 1 Sample characteristics

基本信息	变量名称	变量定义	比重/%
家庭信息	性别	男	53.40
		女	46.60
	受教育程度	小学及以下	16.60
		初中	21.40
		高中(中专)	22.00
		大学本科(大专)及以上	40.00
经济情况	家庭年末总收入/10^5元	0~1	58.88
		1~2	29.75
		2~3	7.64
		3~4	2.07
		>4	1.65

主要参照CRECS开发的家庭能源估计算法[9],根据相应的用能设备参数(功率、燃烧速度、能效等级)和用户消耗特征(每日使用频率和每次使用的持续时间),计算每种燃料的实际消耗量,再根据《综合能耗计算通则》(GB/T2589-2020)中的能源折标煤系数为标准量,从而得到青海省西宁市家庭能源消费量[28]。具体计算方法如下:

$$\text{Energy}_i = \sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N}\text{Energy}_{i,m,n} \times \text{coef}_n \quad (1)$$

式中:Energy_i为i个家庭能源消费量(kgce);M为家庭不同能源消费活动(如照明、烹饪等);N为不同能源类型;$\text{Energy}_{i,m,n}$为家庭i第n种能源用于第m类活动的实物消费量。在此基础上,根据每类能源品的折标系数(coef_n)为不同类型能源转换系数。

$$\text{Energy}_{i,n}=\sum_{m=1}^{M}\text{Energy}_{i,m,n}\times\text{coef}_n \qquad (2)$$

式中：$\text{Energy}_{i,n}$为i个家庭n类活动的能源消费量(kgce)。

$$\text{Energy}_{i,m}=\sum_{n=1}^{N}\text{Energy}_{i,m,n}\times\text{coef}_n \qquad (3)$$

式中：$\text{Energy}_{i,m}$为i个家庭m种能源类型的能源消费量(kgce)。

上述公式中不同能源类型的折标系数选取，直接影响总和能源消费总量，本文参考《综合能耗计算通则》(GB/T2589-2020)[28]中各能源的折标准煤系数进行计算(表2)。

表2　能源折标准煤系数

Tab. 2　Reference coefficient for energy conversion to standard coal

能源名称	折标煤系数	单位
原煤	0.7143	$kgce\cdot kg^{-1}$
天然气	1.3300	$kgce\cdot m^{-3}$
液化石油气	1.7572	$kgce\cdot kg^{-1}$
电力(当量值)	0.1229	$kgce\cdot (kW\cdot h)^{-1}$

2.2.2　模型构建与变量选取

(1) OLS模型

普通最小二乘法(OLS)是线性回归模型，可用于研究家庭人均能源消费与影响因素之间的线性关系。为了能够恰当地解释OLS模型的系数，数据必须满足正态性、独立性、线性相关以及同方差性。

首先，OLS线性回归模型的公式可表示为：

$$\ln y_t=\alpha+\beta_1\ln x_{1t}+\beta_2\ln x_{2t}+\beta_3\ln x_{3t}+\mu_t \qquad (4)$$

式中：$\ln y_t$为第t户家庭人均能源消费量；$\ln x_{1t}$、$\ln x_{2t}$、$\ln x_{3t}$为第t户家庭人均能源消费量的影响因素，其中x_1为受访者的家庭年末总收入，x_2为受访者的受教育水平，x_3为受访者的家庭劳动人口数；α为常数项；β_1为受访者的家庭年末总收入的回归系数；β_2为受访者的受教育水平的回归系数；β_3为受访者的家庭劳动人口数的回归系数；μ_t为随机误差项。

(2) 变量选取

以往文献研究表明，家庭能源消费的影响因素以家庭特征和经济特征为主[29]。因此，本文选取受访者的家庭年末总收入、家庭劳动人口数、受教育程度作为分析西宁市家庭能源消费的自变量。其中，家庭年末总收入和家庭劳动人口数为连续变量。受访者的受教育程度为分类变量。在城镇化发展过程中，家庭人口结构与人均生活能源消费量呈现一种"U"型关系。在城镇化早期阶段，城镇化会对人均生活能源消费量起到抑制作用，但随着城镇化水平的不断发展，家庭人均能源消费量也会不断的增加。家庭劳动人口数与家庭能源消费呈负相关。家庭劳动人口数增加导致居民的居家时间减少，从而使家庭能源消费量不断减少。家庭年末总收入与家庭人均能源消费量呈现正相关关系，居民结合自身收入水平及资源价格变动影响能源消费水平，居民的生活能源消费水平和收入水平呈现着一种长期稳定的关系。受教育程度与家庭能源消费量呈现负相关关系，随着居民的受教育水平的不断提高，节能意识会更强，一定程度上缓解家庭能源消费量。最后，为保证本文结果的客观性和合理性，本文分别对家庭人均能源消费量和家庭年收入取对数来进行线性回归。表3列出了上述变量的定义及描述性统计。

表3　西宁市城镇家庭人均能源消费量影响因素变量描述性统计

Tab. 3　Descriptive statistics of influencing factors of per capita energy consumption of urban household in Xining City

变量名称	变量定义	平均数	标准差	最小值	最大值
家庭年末总收入/10^4元	–	11.1560	0.8544	8.2940	15.6072
受教育程度	1=从未上过学	0.0639	0.2449	0.0000	1.0000
	2=小学	0.1010	0.3017	0.0000	1.0000
	3=初中	0.2144	0.4109	0.0000	1.0000
	4=高中/中专	0.2124	0.4094	0.0000	1.0000
	5=大专	0.1258	0.3319	0.0000	1.0000
	6=本科	0.2536	0.1676	0.0000	1.0000
	7=本科以上	0.0289	0.1676	0.0000	1.0000
家庭劳动人口数/人	–	2.1381	1.0303	0.0000	7.0000

3 结果与分析

2021年西宁市城镇家庭年人均能源消费量为461.56 kgce·a^{-1}。分区域来看，湟源县的年人均能源消费量最高，为631.12 kgce·a^{-1}，其次是主城区（城东区、城中区、城西区、城北区、湟中区）（466.56 kgce·a^{-1}）和大通回族土族自治县（398.26 kgce·a^{-1}）。

3.1 家庭能源消费用途

西宁市城镇居民家庭能源消费量包括厨房设备能源消费、大型家用电器能源消费、暖气设备能源消费以及照明设备能源消费4类。其中厨房设备能源消费主要以炉灶为主，大型家用电器能源主要有冰箱、洗衣机、电视和热水器。

厨房设备及采暖能源消费是家庭能源消费的重要组成部分（图2）。由表4可知，采暖人均能源消费量为307.52 kgce·a^{-1}，占家庭总人均能源消费量的66.62%。这是因为西宁市地处高原，入冬早，气温低，采暖期较长[30]。采暖能源消费类型主要为天然气，消费比重为100.00%。炊事的人均能源消费量为74.56 kgce·a^{-1}，占人均能源消费量的16.15%，所消费的能源类型占比依次为天然气60.21%、电能33.81%、煤炭2.89%、液化气1.44%。调研发现，为了减少开支，租住户家庭更倾向选择液化气用于炊事。热水器的人均能源消费量为60.36 kgce·a^{-1}，占家庭总人均能源消费量的13.08%，能源消费类型占比从大到小依次为电能>太阳能>天然气。冰箱的年人均用能为5.85 kgce·a^{-1}，洗衣机的年人均用能为0.44 kgce·a^{-1}，电视的年人均用能为2.17 kgce·a^{-1}，照明的年人均用能为10.66 kgce·a^{-1}。洗衣机的能源消费量比重最小，为0.10%。调研发现多数家庭的洗衣频次为每周1~3次，只有极少部分家庭每天使用洗衣机，而这部分家庭中均有幼儿。

西宁市的家庭采暖年人均能源消费量位居用能总量首位（表5），进一步研究区域特征发现，主城区家庭采暖年人均能源消费量为315.42 kgce·a^{-1}，占家庭总人均能源消费量的67.61%；大通县城镇家庭采暖年人均能源消费量为262.04 kgce·a^{-1}，占家庭总人均能源消费量的65.79%；湟源县城镇家庭采暖年

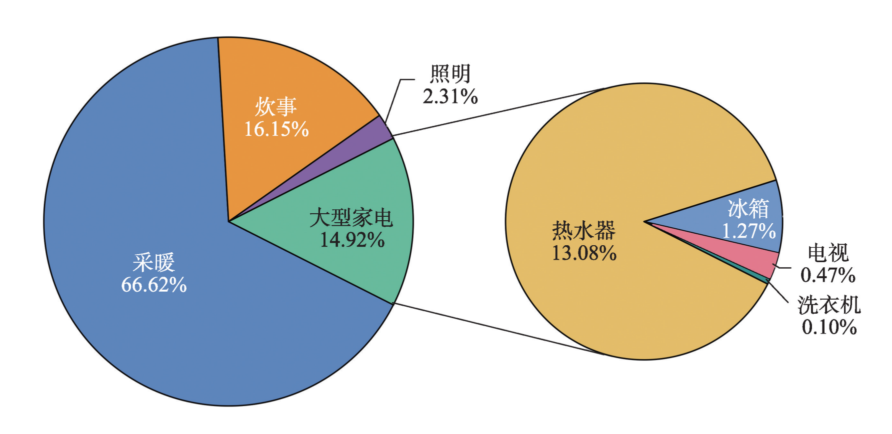


图2 家庭能源用途占比情况

Fig. 2 Proportion of household energy use

表4 西宁市城镇家庭年人均用能量及占比

Tab. 4 Annual per capita energy consumption of urban households and its proportion in Xining City

能源用途	年人均用能/kgce·a^{-1}	占比/%	电能/%	天然气/%	煤炭/%	液化气/%	太阳能/%
炊事	74.56	16.15	33.81	60.21	2.89	1.44	–
采暖	307.52	66.62	–	100.00	–	–	–
热水器	60.36	13.08	57.73	9.69	–	–	20.21
冰箱	5.85	1.27	97.32	–	–	–	–
洗衣机	0.44	0.10	97.94	–	–	–	–
电视	2.17	0.47	75.46	–	–	–	–
照明	10.66	2.31	100.00	–	–	–	–

注：在调研中发现，冰箱、洗衣机、电视和照明的能源类型均为电能；采暖的能源类型均为天然气；热水器的能源类型为无煤炭和液化气；炊事的能源类型为无太阳能能源。

表5　西宁市主城区与两县年人均用能量及占比

Tab. 5　Annual per capita energy consumption and its proportion in the main urban and two counties of Xining City

能源用途	主城区		大通县		湟源县	
	年人均用能/kgce·a⁻¹	占比/%	年人均用能/kgce·a⁻¹	占比/%	年人均用能/kgce·a⁻¹	占比/%
炊事	74.77	16.03	51.16	12.85	141.17	22.37
采暖	315.42	67.61	262.04	65.79	401.72	63.65
热水器	57.71	12.37	65.21	16.37	69.15	10.96
冰箱	5.88	1.26	5.27	1.32	7.12	1.13
洗衣机	0.48	0.10	0.36	0.09	0.28	0.04
电视	2.22	0.48	1.87	0.47	2.32	0.37
照明	10.08	2.16	12.35	3.10	9.36	1.48

人均能源消费量为401.72 kgce·a^{-1}，占家庭总人均能源消费量的63.65%。湟源县家庭炊事年人均消费量在3个区域中位居首位，为141.17 kgce·a^{-1}，占比为22.37%；大通县城镇家庭热水器、冰箱和照明年人均消费量占比在3个区域中最高，分别为65.21 kgce·a^{-1}、5.27 kgce·a^{-1}、12.35 kgce·a^{-1}，占比分别为16.37%、1.32%、3.10%；相较于西宁市主城区和大通县而言，湟源县城镇家庭洗衣机和电视年人均消费量占比最小，分别为0.28 kgce·a^{-1}，2.32 kgce·a^{-1}，占比分别为0.04%、0.37%。

3.2　回归结果分析

基于本文构建OLS模型，识别西宁市城镇家庭人均能源消费量的影响因素（表6）。回归结果显示，当将家庭年末总收入放入模型1进行回归时发现，家庭年收入对家庭年人均能源消费量呈现负向影响，家庭年收入每增加1%，家庭年人均能源消费量减少39.81%。在此基础上，进行第2步回归（模型2），添加受访者的受教育程度，此时家庭年末总收入仍对家庭人均能源消费量为负向影响，家庭年收入每增加1%，家庭年人均能源消费量减少24.65%。随后，我们将家庭劳动人口数加入模型3，发现家庭年末总收入对家庭人均能源消费量的影响仍为负向，而随着家庭年收入每增加1%，则家庭年人均能源消费量减少22.10%。也就是说，家庭年末总收入是影响家庭人均能源消费量的关键因素。

3.3　基于家庭收入的能源消费流构建

上文已经根据OLS模型，发现家庭年收入对家庭年人均能源消费量的影响明显，为了进一步分析家庭年收入在不同水平下对能源消费的影响，本文依据《青海省统计年鉴》[31]将研究样本的家庭年人均收入按照由低到高进行排序，分别为低收入、中

表6　西宁市城镇家庭人均能源消费量的影响因素

Tab. 6　Influencing factors of per capita energy consumption of urban households in Xining City

因素类别	定义	模型1	模型2	模型3
家庭年末总收入/10^4元	–	−0.3981*** (−4.25)	−0.2465** (−2.45)	−0.2210** (−2.19)
受教育程度	小学=1	–	0.3035 (0.76)	0.3523 (0.88)
	初中=2	–	0.4818 (1.35)	0.5291 (1.49)
	高中/中专=3	–	−0.1372 (−0.38)	−0.0940 (−0.26)
	大专=4	–	0.0060 (−0.02)	0.0702 (0.18)
	本科=5	–	−0.4290 (−1.20)	−0.3708 (−1.03)
	本科以上=6	–	−0.8584 (−1.50)	−0.8285 (−1.45)
家庭劳动人口数/人	–	–	–	−0.1545** (−1.99)
常数项	–	–	–	9.3351*** (8.36)

注：***、**和*分别表示在1%、5%和10%的水平上显著。括号中数值为t值。

低收入、中等收入、中高收入、高收入5种水平（表7）。本文根据分组家庭能源消费量的平均值，在低收入、中收入和高收入分组家庭中选取1个最接近分组能源消费平均值的家庭，构建典型家庭能源消费物质流模型[32]，使用e!Sankey软件绘制能源物质流图。

家庭A属于低收入组，常住人口4人，劳动力人数2人，受访者年龄为38岁，家庭人均年收入为9×10^3元，家庭能源消费量为2099.6 kgce·a^{-1}。建模结果发现，天然气占家庭能源消费的92.3%，其主要用于采暖；电能仅占家庭能源消费的7.7%，其中热水

器占据电能消费量的66.9%，洗衣机仅占电能的0.3%(图3)。

家庭B属于中收入组，常住人口4人，劳动力人数2人，受访者年龄为53岁，家庭人均年收入为2.5×10^4元，家庭能源消费量为2841.3 kgce·a^{-1}。分析发现该家庭所用能有3种，电能、太阳能和天然气；天然气的消费量占家庭能源消费的63.5%，其中采暖占天然气消费量的85.3%；太阳能占家庭能源消费的33.3%，其主要用于家中热水的供应；电能占家庭能源消费的3.2%，其中冰箱占电能消费量的48.4%，电视仅占电能消费量的2.0%(图4)。

家庭C属于高收入组，常住人口3人，劳动力人数2人，受访者年龄为33岁，家庭人均年收入为6.67×10^4元，家庭能源消费量为3218.0 kgce·a^{-1}。分析发现该家庭所用能有两种，电能和天然气；天然气的消费量占家庭能源消费的97.3%，炉灶、热水器和采暖均使用天然气，其中热水器占天然气消费量的57.8%，采暖占天然气消费量的29.5%；电能占家庭能源消费的2.7%，其中电视仅占电能消费量的0.3%，洗衣机仅占1.1%(图5)。

综上，3组家庭随着收入的增加，家庭能源消费量也在不断的增加，家庭能源类型呈现明显的区别。随着收入的不断增加，从家庭A到家庭C的大型家电数量占比也在不断的增加，主要是随着家庭收入的不断增加，人们对家用电器的需求也在不断上升。从家庭A到家庭C的模型结果显示，随着收入的不断增加，取暖能源消费量在不断减少。根据结果显示，随着收入水平的增加，居民购房时会倾向选择以自采暖方式的房屋，通过自主调节室内温度，在一定程度上降低了取暖能源消费量。换言之，随着人们收入水平增加，取暖能源消费量会随之减少。

4 讨论

高原城市作为我国生态安全的重要守卫地，西宁市作为高原城市的代表，探索其家庭能源消费的研究对我国生态文明建设起着至关重要的作用。通过本文得到的结论，提出以下几点建议：第一，青海省作为首个国家清洁能源示范省，城镇居民使用清洁能源的频率并不高，实际上青海高原清洁能源产业的发展潜力巨大，作为青海省的省会城市，高

表7 西宁市家庭收入分组情况

Tab. 7 Household income groups in Xining City

收入分组	低收入	中低收入	中等收入	中高收入	高收入
家庭人均年收入/元	6001	12794	21992	33278	89967
家庭规模/人	4.5	4.1	4.1	3.1	2.8
家庭劳动人口数/人	2.2	2.3	2.3	2.0	2.1
受访者年龄/岁	43.4	44.4	42.6	42.1	39.6

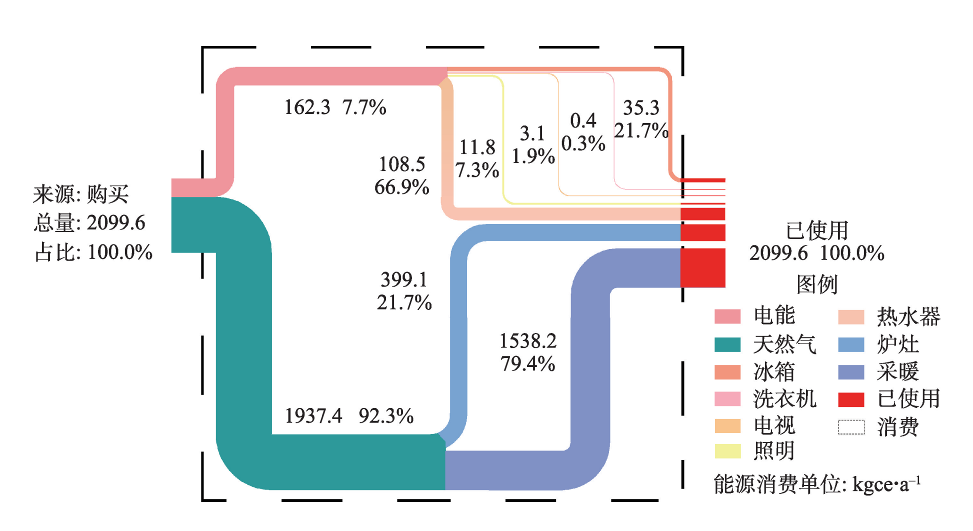


图3 西宁市家庭A能源物质流模型

Fig. 3 Energy material flow model of household A in Xining City

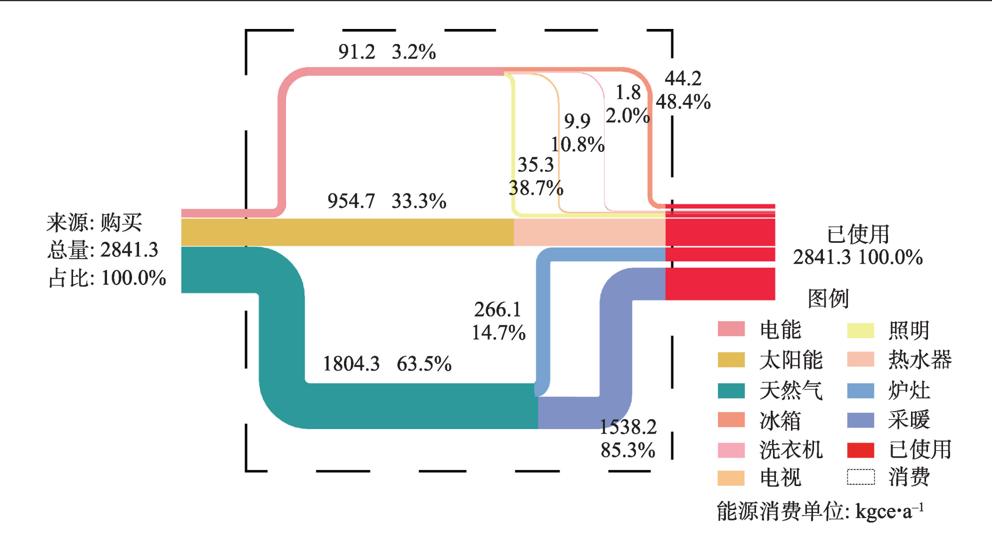


图4　西宁市家庭B能源物质流模型

Fig. 4　Energy material flow model of household B in Xining City

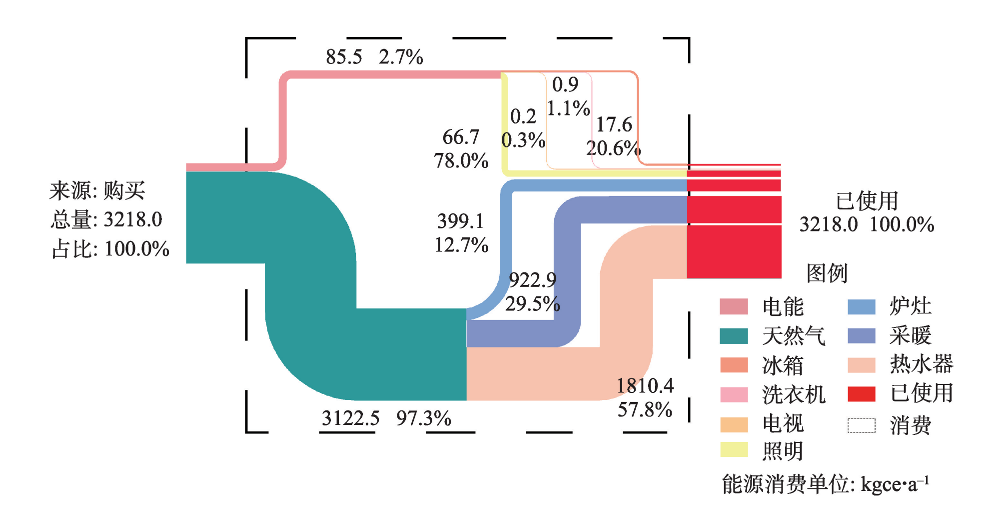


图5　西宁市家庭C能源物质流模型

Fig. 5　Energy material flow model of household C in Xining City

原城市西宁需进一步强化居民对可再生能源认识，增加居民清洁能源供给，如架设屋顶光伏，扩大天然气管道的铺设范围等。第二，对不同收入水平的居民进行差异性环保节能政策的宣传，尤其要对中等和高收入水平的家庭进行高效节能的政策宣传，如中高收入家庭可通过购买低耗能家用电器来节能；而对低收入家庭进行节能意识的宣传，重点增强低收入家庭对随手关灯等的节能意识。第三，统筹区域协调发展，因地制宜采取差异性节能政策。研究区域家庭能源消费问题要考虑本地区和邻近地区的实际状况，不能盲目限制或鼓励不同经济水平地区居民的能源消费，应当引导消费，政策补贴等多措施结合，对不同经济发展水平的区域采取不同的节能政策。

不同地理空间尺度下的区域家庭能源结构、时空过程及其驱动机制和效应是当前能源地理研究前沿，也是难点。作为青藏高原的重要组成部分，青海高原80%以上的面积在海拔4000 m以上，气温显著低于同纬度地区，使得其在能源消费方面具有典型特征，一方面高原光照等清洁能源富集，但与此同时，社会民生领域依然存在清洁能源短缺情况，尤其在人口聚集的高原城镇，如何解决这一现实矛盾？未来还有诸多问题值得深入探讨，如高海拔地区特有的生活方式是如何影响能源消费的？在平均供暖期长达182 d的现实情况下，如何高效取暖，降低生活能耗并减少碳排放？目前，受限于

调研时间和样本数量,本文并不能高精准刻画其关联效应和机理,从而在决策支持上也存在着较大的知识误差,随着大数据时代多源地理空间数据的急速增长,未来空间大数据为区域家庭能源消费情况识别提供可能,在节省调研时间的同时,也可使得分析结果更加精确。

5 结 论

(1) 2021年西宁市城镇家庭年人均能源消费量为461.56 kgce·a^{-1}。湟源县年人均能源消费量最高,为631.12 kgce·a^{-1},其次是主城区(城东区、城中区、城西区、城北区、湟中区)(466.56 kgce·a^{-1})和大通回族土族自治县(398.26 kgce·a^{-1})。在能源用途方面,各区县的采暖能源消费量占比均最高,人均能源消费量为307.52 kgce·a^{-1},占家庭用能总量的60%以上,其次是炊事(74.56 kgce·a^{-1})、大型家用电器(68.83 kgce·a^{-1})、照明设备(10.27 kgce·a^{-1}),洗衣机用能最低。

(2) 家庭年末总收入是家庭年人均能源消费的核心因素。随着家庭年末总收入的不断增加,家庭人均能源消量在逐渐减少。主要是随着技术水平不断创新,节能设备逐步替代能源消费较大的传统设备,从而降低人均家庭能源的消费量。此外,家庭劳动人口数与家庭人均能源消费量呈负相关,即随着家庭劳动人口数的不断增加,家庭人均能源消量不断的减少。

(3) 高收入的家庭能源种类多,家庭人均能源消费量大。不同收入水平的家庭中,用于炊事的能源量无明显差异。相较于低收入家庭,高收入家庭用于大型家用电器的能源量更多。随着家庭收入水平增加,采暖能源消费量随之减少,这是因为高收入家庭更倾向自采暖,自主控制取暖时长,相应减少了集中供暖时室内温度过高导致的能源浪费,取暖能源消费比例也随时更少。

参考文献(References)

[1] IEA (International Energy Agency). Data and statistics2019[DB/OL]. [2020-11-18]. https://www.iea.org/data-and-statistics.

[2] 国家统计局. 中国统计年鉴2021[EB/OL]. [2022-01-12]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2021/indexch.htm. [National Bureau of Statistics. China Statistical Yearbook 2021[EB/OL]. [2022-01-12]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2021/indexch.htm.]

[3] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Climate change 2022: Mitigation of climate change[R]. Nairobi and Geneva: World Meteorological Organization (WMO) and the United Nations Environment Programme (UNEP), 2022.

[4] 丁永霞. 中国家庭能源消费的时空变化特征分析[D]. 兰州: 兰州大学, 2017. [Ding Yongxia. Analysis of spatiotemporal variations of household energy consumption in China[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2017.]

[5] Nejat P, Jomehzadeh F, Taheri M M, et al. A global review of energy consumption, CO_2 emissions and policy in the residential sector (with an overview of the top ten CO_2 emitting countries)[J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2015, 43: 843-862.

[6] Reinders A H M E, Vringer K, Blok K. The direct and indirect energy requirement of households in the European Union[J]. Energy policy, 2003, 31(2): 139-153.

[7] Gupta G, Koehlin G. Preferences for domestic fuel: Analysis with socio-economic factors and rankings in Kolkata, India[J]. Ecological Economics, 2006, 57(1): 107-121.

[8] Karimu A. Cooking fuel preferences among Ghanaian Households: An empirical analysis[J]. Energy for Sustainable Development, 2015, 27: 10-17.

[9] 郑新业, 魏楚, 虞义华, 等. 中国家庭能源消费研究报告(2016)[R]. 北京: 中国科学出版传媒有限公司, 2017. [Zheng Xinye, Wei Chu, Yu Yihua, et al. China household energy consumption research report (2016)[R]. Beijing: China Science Publishing & Media Ltd., 2017.]

[10] 谢伦裕, 陈飞, 相晨曦. 城乡家庭能源消费对比与影响因素——以浙江省为例[J]. 中南大学学报(社会科学版), 2019, 25(6): 106-117. [Xie Lunyu, Chen Fei, Xiang Chenxi. Urban and rural residential energy consumption and the determinants: Evidences from Zhejiang Province[J]. Journal of Central South University (Social Sciences Edition), 2019, 25(6): 106-117.]

[11] 史清华, 彭小辉, 张锐. 中国农村能源消费的田野调查——以晋黔浙三省2253个农户调查为例[J]. 管理世界, 2014(5): 80-92. [Shi Qinghua, Peng Xiaohui, Zhang Rui. A field survey on energy consumption in China's rural areas: A case study of 2253 farmers in Shanxi, Guizhou, and Zhejiang Provinces[J]. Management World, 2014(5): 80-92.]

[12] 吴施美, 郑新业. 收入增长与家庭能源消费阶梯——基于中国农村家庭能源消费调查数据的再检验[J]. 经济学, 2022, 22(1): 45-66. [Wu Shimei, Zheng Xinye. Revisit of household energy ladder: Empirical evidence from a household survey in rural China[J]. China Economic Quarterly, 2022, 22(1): 45-66.]

[13] Jiang L, Yu L, Xue B, et al. Who is energy poor? Evidence from the least developed regions in China[J]. Energy Policy, 2020, 137: 111122, doi: 10.1016/j.enpol.2019.111122.

[14] Ma W, Zheng H, Gong B. Rural income growth, ethnic differences, and household cooking fuel choice: Evidence from China[J]. Energy Economics, 2022, 107: 105851, doi: 10.1016/j.eneco.2022.105851.

[15] 姜璐, 余露, 薛冰, 等. 青海省家庭能源消费结构地域特征[J]. 经

济地理, 2019, 39(8): 146-152, 176. [Jiang Lu, Yu Lu, Xue Bing, et al. Regional characteristics of household energy consumption structure in Qinghai Province[J]. Economic Geography, 2019, 39(8): 146-152, 176.]

[16] Yu L, Wu S, Jiang L, et al. Do more efficient buildings lead to lower household energy consumption for cooling? Evidence from Guangzhou, China[J]. Energy Policy, 2022, 168: 113119, doi: 10.1016/j.enpol.2022.113119.

[17] 孙岩. 家庭异质性因素对城市居民能源使用行为的影响[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2013, 15(5): 23-28. [Sun Yan. Study on the influence of household heterogeneity factors on the energy use behavior of urban residents[J]. Journal of Beijing Institute of Technolog (Social Sciences Edition), 2013, 15(5): 23-28.]

[18] 芈凌云. 城市居民低碳化能源消费行为及政策引导研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2011. [Mi Lingyun. Research on urban residents low carbonization energy consumption behavior and policy guidance[D]. Xuzhou: China University of Ming and Technology, 2011.]

[19] Xu Q, Lu Y, Hwang B G, et al. Reducing residential energy consumption through a marketized behavioral intervention: The approach of Household Energy Saving Option (HESO)[J]. Energy and Buildings, 2021, 232: 110621, doi: 10.1016/j.enbuild.2020.110621.

[20] Zhang A T, Patnaik S, Jha S, et al. Evidence of multidimensional gender inequality in energy services from a large-scale household survey in India[J]. Nature Energy, 2022: 1-10.

[21] Pelz S, Chindarkar N, Urpelainen J. Energy access for marginalized communities: Evidence from rural north India, 2015—2018[J]. World Development, 2021, 137: 105204, doi: 10.1016/j.worlddev.2020.105204.

[22] 姜璐, 黄耿志, 谢惠春, 等. 空间尺度视角下的家庭能源消费研究进展与展望[J]. 地理科学进展, 2021, 40(10): 1788-1798. [Jiang Lu, Huang Gengzhi, Xie Huichun, et al. A review of household energy consumption research from the perspective of spatial scale[J]. Progress in Geography, 2021, 40(10): 1788-1798.]

[23] 鲁大铭, 石育中, 李文龙, 等. 西北地区县域脆弱性时空格局演变[J]. 地理科学进展, 2017, 36(4): 404-415. [Lu Daming, Shi Yuzhong, Li Wenlong, et al. Spatiotemporal change of vulnerability in counties of northwest China[J]. Progress in Geography, 2017, 36(4): 404-415.]

[24] 鲍超, 徐牧天. 西北地区投入产出效率的综合测度与时空变化[J]. 干旱区地理, 2021, 44(6): 1772-1783. [Bao Chao, Xu Mutian. Comprehensive measurement and spatiotemporal variations of input-output efficiency in northwest China[J]. Arid Land Geography, 2021, 44(6): 1772-1783.]

[25] 西宁市人民政府. 2021年末西宁市常住人口城镇化率达到79.33% [EB/OL]. [2022-04-02]. https://www.xining.gov.cn/sjgk/zxgk/202204/t20220402_167746.html. [Xining People's Government. By the end of 2021, the urbanization rate of the permanent population in Xining City will reach 79.33%[EB/OL]. [2022-04-02]. https://www.xining.gov.cn/sjgk/zxgk/202204/t20220402_167746.html.]

[26] 西宁市统计局. 西宁统计年鉴2021[DB/OL]. [2021-11-26]. https://tjj.xining.gov.cn/zwgk/fdzdgknr/tjxx/gjnj/202111/t20211126159614.html. [Xining Statistics Bureau. Xining statistical yearbook 2021[DB/OL]. [2021-11-26]. https://tjj.xining.gov.cn/zwgk/fdzdgknr/tjxx/gjnj/202111/t20211126159614.html.]

[27] 湛东升, 张文忠, 余建辉, 等. 问卷调查方法在中国人文地理学研究的应用[J]. 地理学报, 2016, 71(6): 899-913. [Zhan Dongsheng, Zhang Wenzhong, Yu Jianhui, et al. Application of questionnaire survey method in human geography studies in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(6): 899-913.]

[28] GB/T 2589-2020. 综合能耗计算通则[S]. 北京: 国家市场监督管理总局和国家标准化管理委员会, 2020. [GB/T 2589-2020. General rules for the calculation of comprehensive energy consumption[S]. Beijing: State Administration for Market Regulation and Standardization Administration, 2020.]

[29] 崔一澜, 刘毅, 诸葛承祥. 城市居民生活能源消费研究进展综述[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(12): 117-124. [Cui Yilan, Liu Yi, Zhuge Chengxiang. Review of studies on energy consumption of urban households[J]. China Population, Resources, and Environment, 2016, 26(12): 117-124.]

[30] 西宁市人民政府. 西宁市城市集中供热管理暂行办法[EB/OL]. [1998-09-01]. https://www.xining.gov.cn/zwgk/zc/gz/202201/t20220104_163446.html. [Xining People's Government. Xining City centralized heat management interim measures[EB/OL]. [1998-09-01]. https://www.xining.gov.cn/zwgk/zc/gz/202201/t20220104_163446.html.]

[31] 青海省统计局. 青海省统计年鉴2019[DB/OL]. [2020-10-21]. http://tjj.qinghai.gov.cn/nj/2020/indexch.htm. [Qinghai Provincial Bureau of Statistics. Qinghai statistical yearbook 2019[DB/OL]. [2019-10-21]. http://tjj.qinghai.gov.cn/nj/2020/indexch.htm.]

[32] 姜璐, 邢冉, 陈兴鹏, 等. 青藏高原农区农户的家庭能源消费研究[J]. 地理科学, 2020, 40(3): 447-454. [Jiang Lu, Xing Ran, Chen Xingpeng, et al. Rural household energy consumption of farmers in the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Scientia Geographica Sinica, 2020, 40(3): 447-454.]

Household energy consumption in urban communities in Qinghai Plateau based on material flow: A case of Xining City

JIANG Lu[1,2], LIU Yanjuan[1], SHI Xiaonan[3], DING Bowenpeng[4], CHEN Hongyu[1]

(1. Academy of Plateau Science and Sustainability of People's Government of Qinghai Province & Beijing Normal University, Xining 810016, Qinghai, China; 2. Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130102, Jilin, China; 4. College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, Gansu, China)

Abstract: Under the background of the postindustrial and post-epidemic eras, the amount of energy consumed by households in urban areas continuously increases. Thus, households have become the main contributor to carbon emissions and large amounts of energy consumed. Accordingly, a study on household energy consumption plays a vital role in the construction of ecological civilization in China. Plateau cities are important custodians of ecological security, and Xining City is a representative of plateau cities. Therefore, we selected it as the research object of this study. We aimed to explore the characteristics and influencing factors of household energy consumption and to visualize the process of household energy consumption under different income conditions. We utilized 2021 survey data, mainly using household energy estimates and ordinary least squares regression models and constructing household energy flows. We found that: (1) The annual per capita energy consumption of urban households in Xining City is 461.57 kgce·a^{-1}. (2) Regarding energy use, the per capita heating energy consumption of urban households in Xining City is 307.52 kgce·a^{-1}, which is the main cause of the high energy consumption (66.62%), followed by the per capita energy consumption of kitchen equipment (74.56 kgce·a^{-1}). Conversely, large household appliances are relatively few, and washing machines especially consume the lowest energy. (3) The total year-end household income is the core factor that affects the annual per capita energy consumption of households in Xining City, China. (4) The annual per capita energy consumption of high-income households is large, and the type of energy consumed varies. Additionally, as household income levels increase, the amount of energy consumed in heating households decreases. Finally, to effectively promote energy transition, we suggest the residents should enhance their awareness of renewable energy, and governments should increase the supply of clean energy for residents by constructing rooftop photovoltaics and laying natural gas pipelines. What is more, governments should also increase the energy-saving publicity for middle- and high-income groups to enhance residents' awareness of independent energy conservation and must customize energy policies for local conditions.

Key words: household energy consumption; plateau towns; influencing factors; OLS model; Xining City